Facultad: Ingeniería.
Escuela: Electrónica.
Asignatura: Control Digital.
Lugar de ejecución: Instrumentación y Control (Edificio 3, 2da planta)

Control ON/OFF y PID

Objetivos específicos

- Crear un sistema de regulación con un control ON OFF o Todo y Nada Digital.
- Analizar el efecto de la histéresis en el control de un sistema de regulación.
- Crear un sistema de regulación con un control PID Digital.
- Encontrar la respuesta de lazo abierto de una planta.
- Calibrar el controlador basados en la respuesta a lazo abierto.
- Analizar el efecto de la regulación el control de un sistema de regulación.

Materiales y equipo

- 1 Computadora con puerto serial (o en su defecto un convertidor USB-Serie) y con los siguientes programas instalados: Two Position Controller for the PC/I V3.10 y PID Controller for the PC/I V3.0 de Lucas Nülle.
- 1 Fuente de alimentación 15 VCD [SO3538-8D]
- 1 Amplificador de potencia [SO3536-7Q]
- 1 Sistema controlado de temperatura [SO3536-8T]
- 1 Interfaz de pc [LM8912]
- 5 Puentes
- 1 Switch
- 1 Cable serial de 9 pines plano macho-hembra

Introducción Teórica

ON-OFF Digital

El programa “Two-Position Controller for the PC/I” simula, en combinación con la interfaz LN-PC (LM8912, llamada en lo sucesivo PC/I), un regulador de dos posiciones, habiéndose previsto como campo de aplicación el área de las regulaciones lentas. El programa no puede reemplazar un regulador industrial, ni es ése su propósito; la finalidad principal es la ilustración del funcionamiento de un regulador de dos posiciones y de ubicación en un circuito cerrado de

regulación.

La PC (y no el PC/I) lleva a cabo la regulación. Esto no representa desventajas en las regulaciones lentas, si se observan algunos puntos. Puesto que bajo Windows no es posible un "multitarea" auténtico (el regulador sigue funcionando, no importando qué otras cosas las realice la PC, se puede detener el regulador mediante determinadas acciones, tales como: desplazar o reducir las ventanas. Dependiendo de la planta conectada, esto puede producir efectos indeseados.

Se pueden analizar los siguientes puntos:

- Montaje elemental de un circuito cerrado de regulación en diagrama de bloques con especificación de las señales conforme a la norma.
- Principio de funcionamiento y respuesta de regulación de un regulador de dos posiciones.
- Respuesta del regulador en función de la posición del valor de referencia.
- Influencia de la histéresis del regulador sobre la respuesta del regulador.
- Limitaciones para el uso de un regulador de dos posiciones.
- Determinación gráfica de los valores característicos de una planta de regulación.

PID Digital

El programa "PID-Controller for the PC/I", en combinación con la interfaz LN-PC (LM8912, llamada en lo sucesivo PC/I), representa un regulador de tipo universal, soporta los componentes P, I y D como también todas las posibles combinaciones de ellos. La tarea de la regulación la lleva acabo la PC/I (y no la PC), de modo que la respuesta del regulador no depende de la velocidad de la PC. La última tiene la tarea de ajustar los parámetros del controlador junto con la presentación gráfica de diferentes variables del regulador.

Se pueden analizar los siguientes puntos:

- Montaje elemental de un circuito cerrado de regulación en diagrama de bloques con especificación de las señales conforme a la norma.
- Principio de funcionamiento y respuesta de regulación de varios tipos de regulador; P, I, D y cualquier combinación de ellos. Tiene la opción de dos reguladores PID en cascada.
- Respuesta del regulador en función de la posición del valor de referencia.
- Efectos de los parámetros del regulador sobre la respuesta del regulador.
- Efectos de la zona muerta, en la respuesta de la acción de control.
- Limitaciones para el uso de tipos de regulador individuales.
- Determinación gráfica de los valores característicos de una planta de regulación.
- Establecimiento de los parámetros óptimos del regulador.
- Evaluación de la calidad del sistema de control.

Ambos programas también puede funcionar sin el PC/I. En este caso, el programa simula plantas elementales, de modo que se puede trabajar con los programas aún sin disponer de un montaje experimental concreto.

Procedimiento

Parte I. Controlador ON-OFF

1. Conecte la PC con la PC/I por medio de un cable serial plano macho-hembra.
2. Para implementar el sistema con un PID digital deberá conectar la salida analógica "B" de la PC/I con la entrada de la planta (en nuestro caso desde la entrada del amplificador de potencia) y la entrada analógica "B" de la PC/I con la salida de la planta (en este caso la salida del transductor) (usamos la entrada "B" de la PC/I, ya que posee una resolución mayor que la entrada "A"). las conexiones son como las mostradas en la Figura 4.1

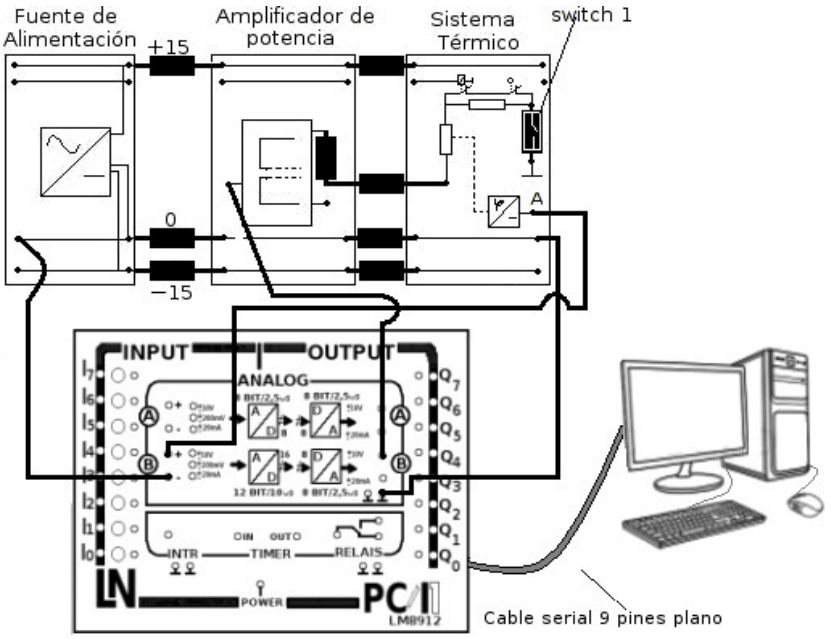

Figura 4.1 Sistema térmico con controlador ON/OFF digital con interfaz PC/I

3. Encienda la PC/I e Inicie el programa del regulador de dos posiciones (Two-Position Controller), al cargar el programa deberá indicar en la esquina inferior izquierda que está listo, sino es así, notifique a su docente de laboratorio.
4. Para adaptar la PC/I a nuestro montaje experimental, elija primero en el menú **Settings** la opción **Controller Parameter...** y de allí seleccione **PC/I**:

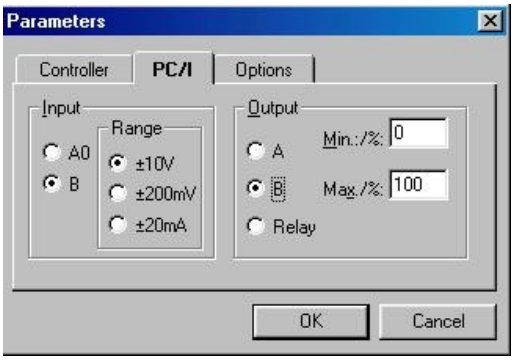

Figura 4.2 Ventana de parámetros de la PC/I

5. Seleccione tanto en **Input** como en **Output** la opción "B", en los voltajes de salida del regulador están preajustados los valores 0 % (0 Voltios) como mínimo (ese es el estado OFF (desconectado)) y 100% (10 voltios) para el máximo (estado ON (conectado)). Es decir, todos los ajustes están tal como las necesidades, déjelos tal como están.

6. En esa misma ventana de clic en la pestaña **Controller** para fijar los parámetros del regulador, ajuste un valor de referencia del 70% y una histéresis de 5%. Estos valores corresponden en nuestra planta a una temperatura de aproximadamente 35º C para el valor de referencia y 2.5º C para la histéresis. El umbral superior de conmutación se encuentra por lo tanto en los 37.5º Cy el inferior en 32.5º C. Presione **OK.**

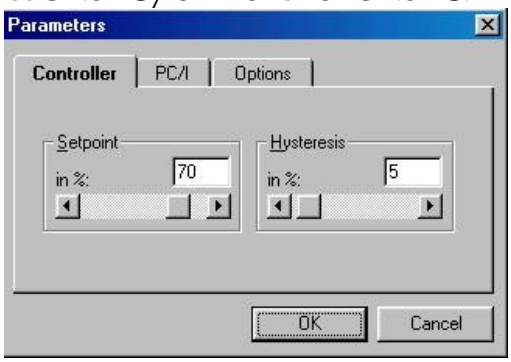

Figura 4.3 Ventana de parámetros del controlador

7. Con ello ha realizado todos los ajustes necesarios y puede iniciar la regulación. Encienda el sistema y active la opción **Start Controller** del menú **Settings**.

8. Cierre el switch que colocó en el sistema térmico y observe la variación en el tiempo del valor de regulación. Salga de la regulación activando la opción **Start Controller** del menú **Settings**. Aparece nuevamente el menú principal. Elija la opción **Timing Chart** del menú **View**. Desaparece con ello la representación del diagrama de bloques y en su lugar aparece un diagrama (aún vacío) para la magnitud regulada y para la histéresis. Vuelva a iniciar la regulación y observe ahora la variación en el tiempo de la magnitud regulada.

9. El resultado obtenido no es del todo satisfactorio, ya que no se reconoce nítidamente la

respuesta típica del regulador. Esto se puede cambiar fácilmente aumentando el rango de tiempo indicado. Para ello finalice el proceso de regulación, seleccione la opción **x-Axis Scale...** en el menú **Chart** y escriba en la caja de texto el valor 60 para el máximo de tiempo y el valor 10 para la división. Ya que está en esta ventana, aproveche para nombrar el eje:

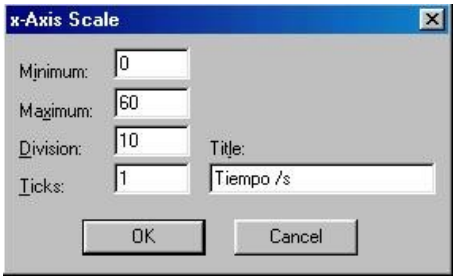

Figura 4.4 Ventana escala del eje "X"

10. A continuación, vuelva iniciar la regulación. Ahora obtendrá un resultado que ilustra mucho mejor la respuesta de un regulador de dos posiciones.
11. Variando el valor de referencia y la histéresis puede observar la influencia de estos parámetros sobre la respuesta de regulación.
12. Finalmente se va a registrar, con la ayuda del programa, la respuesta al escalón de la planta.
13. Abra el switch que colocó en el sistema térmico y deje que el sistema se enfríe.
14. Luego basta con elegir un valor de referencia tan elevado, que no se pueda alcanzar en régimen normal.
15. Luego ponga en marcha el regulador, cierre el switch en un momento determinado de la gráfica y un poco antes de alcanzar el valor temporal máximo. Interrumpa el proceso de regulación para evitar que se borre la pantalla.
16. En base a la curva generada se pueden determinar gráficamente los parámetros de la planta (T_u y T_g).

Parte II. Controlador PID

17. Abra el switch y deje que se enfrie el sistema, ahora se probará el sistema con el controlador PID, ejecute el programa PID-Controller. Inicialmente se muestra una ventana con un mensaje que indica que el programa del Regulador se está transfiriendo a la PC/I, seguido por el diagrama de bloques del sistema de regulación, sino es así notifique a su docente de laboratorio.

18. Ahora defina los parámetros del Regulador. Elija primero en el menú **Settings** la opción **Controller Parameter** y de allí seleccione **Controller (Ver Figura 4.5)**

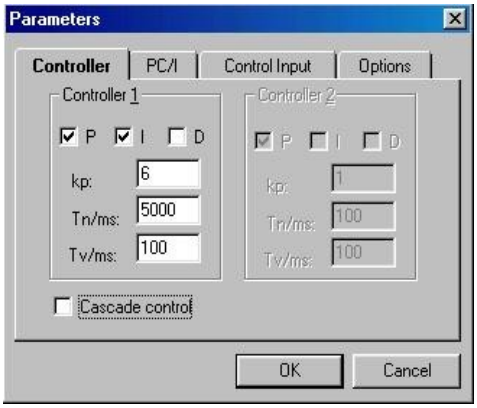

Figura 4.5 Ajuste de los parámetros para el PID

19. Active las opciones P e I de modo que el Regulador funcione como un controlador PI. Coloque para la ganancia KP el valor de 6 y para el tiempo de acción integral el valor de 5000. Estos son valores estimados para los parámetros del regulador; luego veremos como optimizar la calibración del regulador.

20. Coloque el valor para la entrada de referencia o consigna: en la pestaña **Control Input** y en la caja de texto escriba el valor de 70 y pulse el botón **OK**.

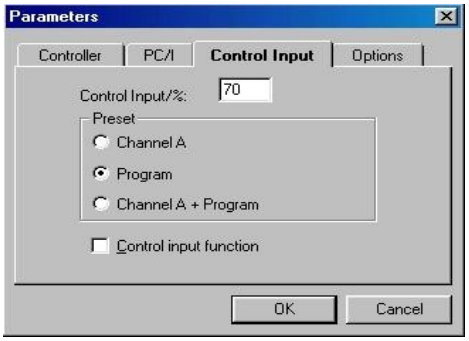

Figura 4.6 Selección del valor de referencia

21. Se necesita la respuesta en el tiempo de la planta para su observación: del menú **View**, seleccione la opción **Timing Chart**.

22. Finalmente, las divisiones de los ejes del sistema de coordenadas serán cambiadas, Seleccione del menú **Chart** la opción **x-Axis Scale** y en las cajas de texto, coloque el máximo del eje del tiempo en 60 y la división a 10 y Pulse sobre el botón **OK**

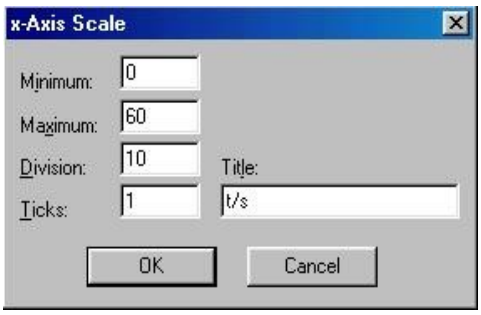

Figura 4.7 Ajuste de la escala X

23. Debe definir ahora lo que se presentará en el diagrama de tiempo: En el menú **View**, active la opción **Display Signals**

24. Seleccione, en el controlador 1, la opción **Control Input**, y en *View* Title **Title+Arrows**, no cierre la ventana, y ahora seleccione **Controled variable** y en *View* **Title+Value**, finalmente seleccione **Controller out.** y en en View **Title+Value**. Luego pulse el botón **Close**.

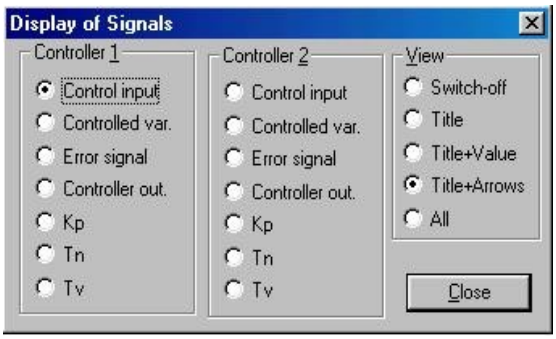

Figura 4.8 Despliegue de las señales

25. Puede cambiar el color y la forma de los trazos escogiendo **Signals** del menú **Chart**.

26. Con ello ha realizado todos los ajustes necesarios y puede iniciar la regulación: Para ello activamos la opción **Start Controller** del menú **Settings**; la respuesta de las variables individuales pueden observarse en la pantalla, cierre el switch que colocó en el sistema térmico en un punto determinado de la gráfica.

27. Sin ningún análisis exhaustivo, puede notar que los parámetros del regulador seleccionados no son los óptimos. Es posible tratar de de mejorar la calidad del control cambiando los valores de los parámetros del controlador. Sin embargo, un método más sofisticado para establecer la calibración óptima se demostrará aquí.

28. Abra el switch y deje que el sistema térmico alcance de nuevo la temperatura ambiente, luego elija del menú **View** la opción **Line response**. Aparece la siguiente ventana:

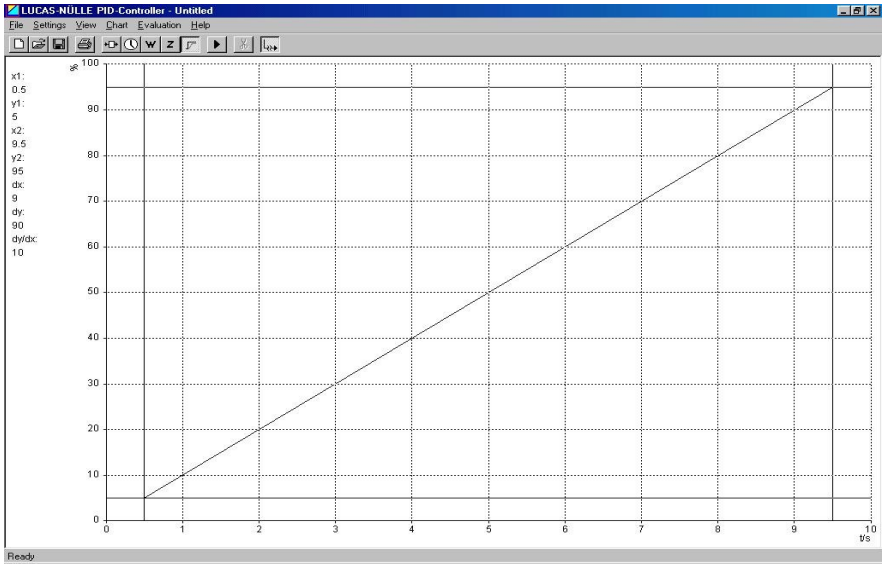

Figura 4.9 Respuesta de la planta.

29. Seleccione del menú **Settings** la opción **Start Measurement**, el registro de la respuesta de la planta aparecerá, cierre el switch en un momento determinado de la gráfica.

30. Para terminar la medición (en aproximadamente 160s) presione F5. Arrastre la recta haciendo clic sin soltar sobre las esquinas de la misma y déjela tangente al punto de inflexión de la gráfica de la respuesta de la planta, tal como se muestra en la Figura 4.11; los valores correspondientes se presentan a la izquierda de la ventana.

31. Aparentemente, la planta tiene compensación y es de orden superior (o cuadrática) con retraso; el criterio de ajuste puede establecerse, de ese modo, de acuerdo con el método de **Chien, Hrones y Reswick,** para ello elija del menú **Evaluation** la opción **Chien, Hrones & Reswick** En la ventana aparecen los valores calculados de **Kp** y **Tn**

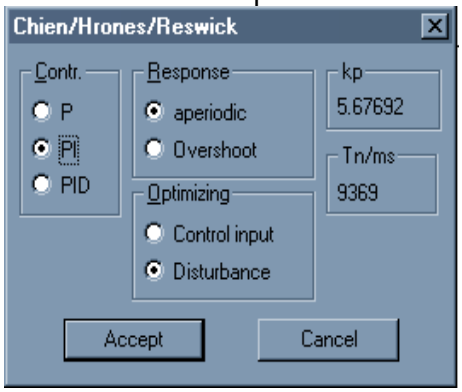

Figura 4.10 Valores obtenidos con el método de Chien, Hrones y Reswick.

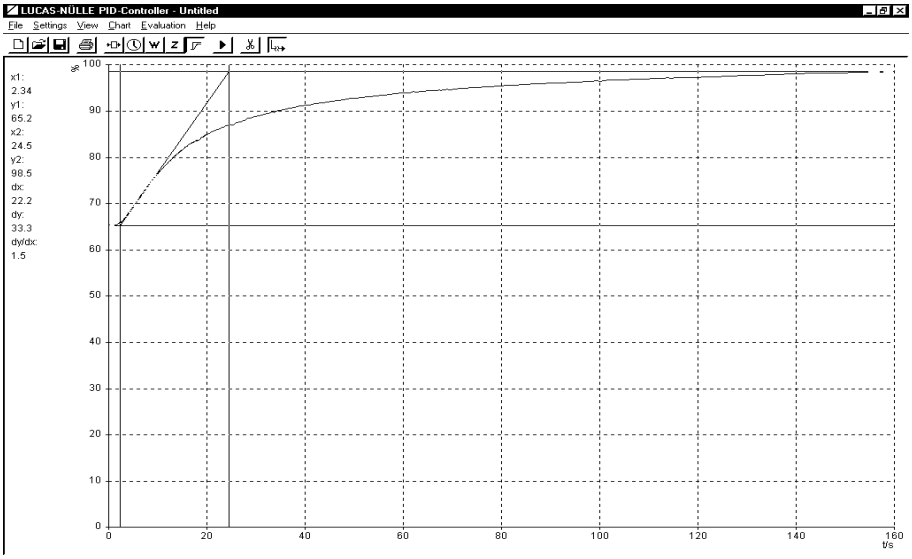

Figura 4.11 Trazo de la recta tangente al punto de inflexión.

32. Para transferir los valores calculados al regulador, se debe de pulsar el botón **Accept**.

33. Seleccione el menú **View**, y de allí la opción **Timing Chart**. Aquí puede ser necesario que le coloque el doble de tiempo al eje X y que habilite la casilla **Controller runs continuous** del menú **Options** en **Settings**.

34. Vuelva a iniciar la regulación (puede presionar F5).

35. Ahora cambie súbitamente la entrada de control para evaluar la respuesta de la planta, para ello ubique el puntero del ratón sobre una flecha en la caja w% de la barra de herramientas a la izquierda, pulse sobre la entrada de referencia y hará que cambie en pasos de 1%; si se mantiene presionada la tecla "ctrl" y se pulsa el botón de flecha, los cambios son en pasos de 10%

36. Se pueden cambiar los parámetros del regulador para intentar optimizar aún más la respuesta del controlador, o para lograr una respuesta a requerimientos personales.

37. Salga de los programas, apague y desconecte el equipo.

Análisis de Resultados

1) Presente las gráficas de regulación de su controlador ON-OFF y PID.
2) ¿Qué relación puede encontrar entre el aumento de la histéresis y la amplitud y período de oscilación?
3) ¿Afecta el tiempo muerto a la amplitud y periodos de oscilación?
4) ¿Cuál es la calidad del regulador (para un tiempo de 60 segundos) con los parámetros PI

colocados como al inicio, con respecto a los calibrados con el método de Chien, Hrones & Reswick?

5) ¿Es necesario cambiar alguna conexión en el circuito, para realizar un control ON-OFF y luego uno PID? Explique.
6) ¿Se podría realizar el método de calibración de Ziegler&Nichols a lazo cerrado con este regulador PID digital? Explique.

Investigación Complementaria

- ¿Puede un sistema continuo volverse inestable cuando se hace discreto y con un regulador de dos posiciones?
- ¿Cuál es la función de transferencia que debe implementarse para realizar un regulador PID en un sistema microprocesado?

Bibliografía

- INGENIERÍA DE CONTROL MODERNA. Tercera Edición. Prentice Hall
  Katsuhiko Ogata, Biblioteca UDB, Clasificación: Libro interno 629.8 O34 1998

- REGULADOR DE DOS PUNTOS PC/I. INSTRUCCIONES DE OPERACIÓN. 3a. Edición. Lucas-Nülle. 1993

- REGULADOR PID. INSTRUCIONES DE OPERACIÓN. 2a. Edición. Lucas-Nülle. 1990.

Hoja de cotejo: 3

Guía 3: Control ON/OFF y PID

Alumno: Puesto No:

Docente: GL: Fecha:

EVALUACION					
	%	1-4	5-7	8-10	Nota
CONOCIMIENTO	25	Conocimiento deficiente de los fundamentos teóricos	Conocimiento y explicación incompleta de los fundamentos teóricos	Conocimiento completo y explicación clara de los fundamentos teóricos	
APLICACIÓN DEL CONOCIMIENTO	60	Reporte Incompleto del análisis de resultados (40%) Investigación complementaria (20%).	Reporte parcialmente completo del análisis de resultados proporcional a las partes realizadas	Reporte completo con el correcto análisis de los resultados e investigación complementaria	
ACTITUD	15	No tiene actitud proactiva y es desordenado.	Actitud propositiva y con propuestas no aplicables al contenido de la guía.	Tiene actitud proactiva y sus propuestas son concretas.	
TOTAL	100 %				